



Analyse électromagnétique rigoureuse et rapide d'un problème multi-échelle et variable de transmission entre deux antennes ULB

Zakaria Guelilia, Renaud Loison, Raphaël Gillard

► To cite this version:

Zakaria Guelilia, Renaud Loison, Raphaël Gillard. Analyse électromagnétique rigoureuse et rapide d'un problème multi-échelle et variable de transmission entre deux antennes ULB. Journées Nationales Micro-ondes, Jun 2015, Talence, France. hal-01159712

HAL Id: hal-01159712

<https://hal.science/hal-01159712>

Submitted on 3 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse électromagnétique rigoureuse et rapide d'un problème multi-échelle et variable de transmission entre deux antennes ULB

Zakaria Guelilia¹, Renaud Loison¹, Raphaël Gillard¹

¹ Université Européenne de Bretagne, INSA, IETR, Rennes
Renaud.Loison@insa-rennes.fr

Résumé

Dans ce papier, une méthode rapide et rigoureuse (MM-DG-FDTD) est proposée, validée et exploitée pour analyser électromagnétiquement des problèmes multi-échelles de transmission entre deux antennes ULB dans lesquels la position de l'antenne de réception varie.

1. Introduction

La modélisation du canal de propagation Ultra Large Bande (ULB) a fait l'objet de nombreux travaux [1, 2]. Des simulations électromagnétiques utilisant la FDTD (Finite Difference Time Domain) sont notamment proposées dans [2] afin de prendre en compte l'influence des matériaux. La version 2D de la FDTD est utilisée et les antennes sont modélisées par des courants équivalents afin de réduire les temps de calcul. Cependant, ces approximations peuvent se révéler insuffisantes dans les situations de fortes interactions entre les antennes et le reste du canal et quand ce dernier ne peut pas être réduit à un problème 2D. Afin de simuler rigoureusement et efficacement un canal 3D BAN (Body Area Network), la FDTD à Double Grille (DG-FDTD) bilatérale a été proposée dans [3]. La méthode permet d'associer une modélisation fine des antennes à une description relâchée du canal. Bien que très efficace, la DG-FDTD bilatérale ne permet pas d'analyser rapidement les cas variables où il faut considérer plusieurs positions de l'antenne de réception comme schématisé sur la figure 1.

Pour traiter cette problématique, nous proposons dans ce papier d'utiliser la MM-DG-FDTD (MetaModèle DG-FDTD), nouvelle méthode proposée dans [4] dans un contexte de dosimétrie numérique.

2. MétaModèle-DG-FDTD

2.a. Principe de la MM-DG-FDTD

Le principe général de la MM-DG-FDTD est présenté sur la figure 2. La méthode se décompose en trois étapes.

Les deux premières étapes correspondent aux deux premières simulations de la DG-FDTD bilatérale : une simulation FDTD fine de l'antenne d'émission Tx puis une simulation FDTD relâchée du canal incluant les deux antennes Tx et Rx. Cette deuxième simulation est excitée par l'injection du champ proche prélevé autour de l'antenne Tx lors de la première simulation. Elle permet de modé-

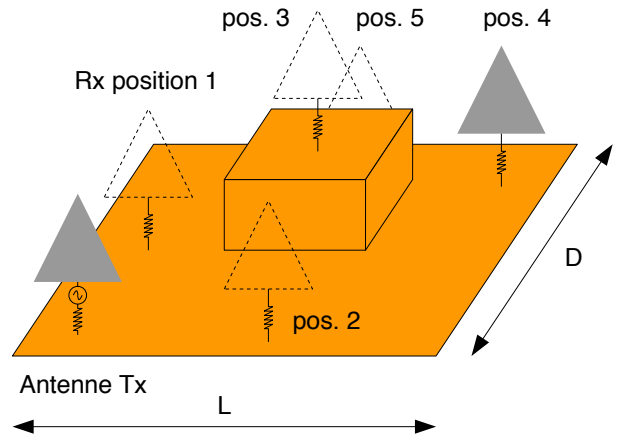


Figure 1. Transmission entre antennes ULB : la position de l'antenne de réception varie.

liser le canal en incluant, d'une manière relâchée, les interactions entre les antennes Tx et Rx et le reste du canal. Durant cette simulation, le champ incident (\vec{E}^{inc} ; \vec{H}^{inc}) sur une surface de prélèvement fermée et maillée autour de l'antenne Rx est stocké.

La troisième étape permet de déterminer rigoureusement le signal b_{Rx} reçu par l'antenne Rx quand elle est éclairée par le champ incident (\vec{E}^{inc} ; \vec{H}^{inc}). Cette étape utilise un MétaModèle (MM) modélisant l'antenne Rx de manière exacte et sans approximation. Inspiré de [5], le MM est un simple système linéaire reliant, dans le domaine fréquentiel, les composantes transverses du champ incident au signal b_{Rx} reçu par l'antenne. La validité de ce modèle repose sur la linéarité du problème considéré dans le domaine fréquentiel : le signal b_{Rx} résulte de la somme des contributions des composantes de champ incident sur la surface de prélèvement discrétisée. Aussi, après une transformée de Fourier rapide (FFT) des composantes du champ incident, le signal b_{Rx} s'exprime comme suit :

$$b_{Rx}(\vec{r}_0) = \sum_i \vec{F}_i^E(\vec{r}_0, \vec{r}_i) \cdot \vec{E}_i^{inc}(\vec{r}_i) + \vec{F}_i^H(\vec{r}_0, \vec{r}_i) \cdot \vec{H}_i^{inc}(\vec{r}_i)$$

où

- \vec{r}_i localise la maille i de la surface de prélèvement et \vec{r}_0 l'accès localisé de l'antenne Rx,
- $\vec{E}_i^{inc}(\vec{r}_i)$ et $\vec{H}_i^{inc}(\vec{r}_i)$ sont les composantes trans-

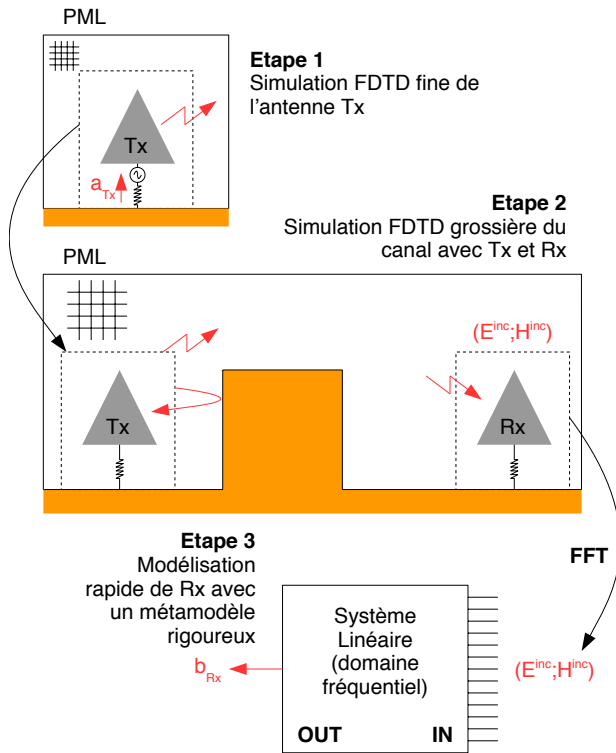


Figure 2. Principe de la MM-DG-FDTD.

verses du champ incident sur la maille i de la surface de prélèvement,

- $\vec{F}_i^E(\vec{r}_0, \vec{r}_i)$ et $\vec{F}_i^H(\vec{r}_0, \vec{r}_i)$ sont les fonctions de transfert reliant les champs incidents sur la maille i et le signal $b_{Rx}(\vec{r}_0)$ reçu sur l'accès de l'antenne Rx.

La détermination des fonctions de transfert exploite le théorème de réciprocité et nécessite au préalable cinq simulations FDTD fines de l'antenne Rx comme décrit dans la partie suivante.

Une fois le MM construit, son utilisation est rapide et il peut être exploité pour toute nouvelle position de l'antenne Rx dans le canal.

2.b. Construction du MétaModèle

Afin de calculer les fonctions de transfert, le théorème de réciprocité est exploité. Appliqué à notre problème, il se traduit par : "le champ créé au niveau de l'accès de l'antenne Rx par une source située sur la surface de prélèvement est égal au champ créé au même endroit sur la surface de prélèvement par une même source située au niveau de l'accès de l'antenne Rx". Concrètement, une seule simulation de l'antenne Rx alimentée par une source localisée située sur son accès (\vec{J}^R ou \vec{M}^R) permet de déterminer l'ensemble des fonctions de transfert relatives à une composante de champ au niveau de l'accès de l'antenne. La figure 3 présente ce problème réciproque.

Le calcul du signal b_{Rx} nécessite la détermination du courant et de la tension au niveau de l'accès chargé de l'antenne Rx. Cela se traduit par le besoin de déterminer cinq composantes de champ au niveau de cet accès : une composante de champ électrique pour la tension et quatre

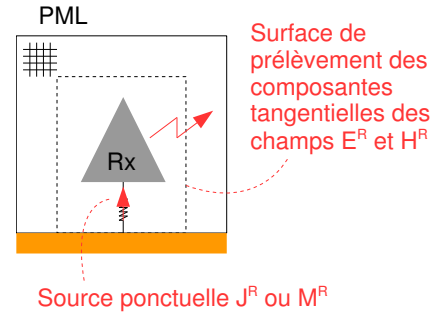


Figure 3. Problème réciproque simulé pour déterminer les fonctions de transfert du MétaModèle.

composantes de champ magnétique pour le courant (calcul de la circulation du champ magnétique autour de l'accès de l'antenne). Au final, le problème réciproque de la figure 3 doit être simulé cinq fois avec cinq sources localisées afin de déterminer complètement le MétaModèle.

Les cinq simulations du problème réciproque sont réalisées avec la FDTD. Les fonctions de transfert dans le domaine fréquentiel sont calculées après FFT des composantes de champ nécessaires. Le calcul temporel de la FDTD permet de déterminer efficacement les fonctions de transfert sur la bande de fréquence désirée.

3. Validation, résultats et temps de calcul

La MM-DG-FDTD est utilisée pour traiter le problème ULB de la figure 1 avec $L = D = 5,6\lambda_{14GHz}$. Les antennes utilisées (Rx et Tx) sont décrites dans [6], elles sont adaptées sur la bande [4,7;9,6] GHz comme le montre la figure 4. Une étude de convergence a montré que la simulation FDTD de cette antenne nécessite une précision de maillage de 0,3 mm.

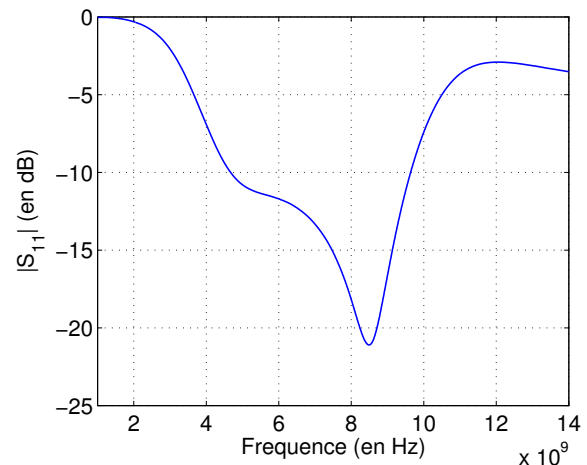


Figure 4. S_{11} de l'antenne ULB isolée simulée avec la FDTD (discrétisation spatiale $dx = dy = dz = 0,3 \text{ mm}$).

Afin de valider la méthode proposée et d'évaluer ses performances, le problème de transmission entre antennes ULB est simulé avec deux approches :

- La DG-FDTD bilatérale [3] est considérée comme référence. Elle traite le problème à l'aide de trois simulations FDTD successives décrivant finement l'antenne Tx, grossièrement l'ensemble du problème puis finement l'antenne Rx.
- La MM-DG-FDTD proposée dans cet article.

Le tableau 1 résume l'ensemble des paramètres des simulations FDTD mises en oeuvre. Les paramètres de l'étape de construction du MM (simulations FDTD fines du problème réciproque de l'antenne Rx) sont identiques à ceux de la première étape DG-FDTD (antenne Tx fine). Les étapes 1 (antenne Tx fine) et 2 (problème complet relâché) des deux méthodes sont communes. La résolution de l'étape 2 est relâchée d'un facteur 4 par rapport à la première étape. La troisième étape de la DG-FDTD (simulation fine de l'antenne Rx seule) présente les mêmes paramètres que l'étape de construction du MM.

La figure 5 présente la différence relative entre les S_{21} simulés avec la DG-FDTD et la MM-DG-FDTD (position 1 de l'antenne Rx). Ce résultat montre que la différence n'excède pas 2% sur toute la bande de fréquence ce qui valide la MM-DG-FDTD.

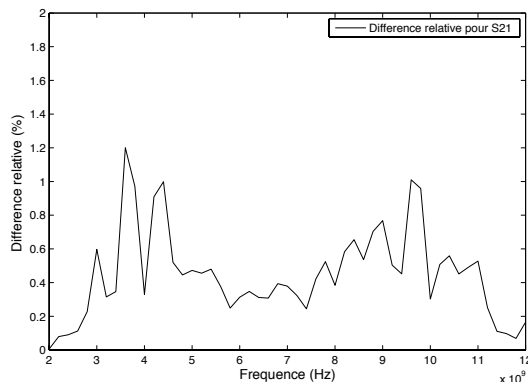


Figure 5. Différence relative entre les S_{21} simulés avec la DG-FDTD et la MM-DG-FDTD (position 1 de Rx).

A titre d'exemple, la figure 6 présente les coefficients de transmission simulés avec la MM-DG-FDTD pour les 5 positions de l'antenne Rx dans le canal ULB.

Le tableau 2 reporte les temps de calcul nécessaires pour analyser W positions de l'antenne Rx (en minutes). L'analyse est effectuée sur la bande $[0;14]$ GHz avec un pas fréquentiel de 200 MHz. Avec ces paramètres, la construction du MM demande 238 minutes. Pour chaque nouvelle position, la DG-FDTD nécessite la simulation du canal (8,15 min) et la simulation fine de l'antenne Rx (37,11 min). La MM-DG-FDTD nécessite quant à elle la simulation du canal complet (8,15 min) et l'application du MM (7,65 min).

La figure 7 reporte l'évolution du temps de calcul en fonction du nombre de positions considéré pour l'antenne

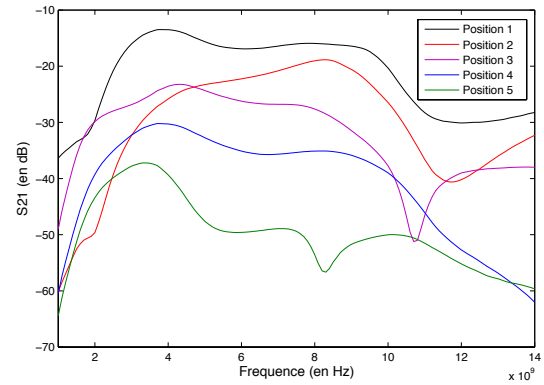


Figure 6. Coefficient de transmission simulé avec la MM-DG-FDTD pour les 5 positions de l'antenne Rx.

Rx. Ce graphique montre que la MM-DG-FDTD devient compétitive par rapport à la DG-FDTD à partir de 9 positions de Rx.

	DG-FDTD	MM-DG-FDTD
Construction du MM	-	238,71
1ère étape	7,35	7,35
2e étape	$8,15 \times W$	$8,15 \times W$
3e étape	$37,11 \times W$	$7,65 \times W$
TOTAL	$7,35 + 45,26 \times W$	$246,06 + 15,8 \times W$

Tableau 2. Temps de calcul pour analyser W positions de l'antenne Rx (en minutes).

4. Conclusion

Dans ce papier, une méthode rapide a été proposée, validée et exploitée pour analyser des problèmes multi-échelles et variables de transmission entre deux antennes ULB. La MM-DG-FDTD est rigoureuse, elle s'inscrit dans la continuité de l'approche DG-FDTD bilatérale en remplaçant la dernière étape par un MétaModèle rapide. De cette manière, l'effort de simulation pour traiter chaque nouvelle position de l'antenne de réception est fortement réduit.

	DG-FDTD			
	MM-DG-FDTD			
	Construction du MM	1 ^{re} étape	2 ^e étape	
Pas spatiaux $dx = dy = dz$	0,3 mm	0,3 mm	1,2 mm	0,3 mm
Pas temporel dt	0,18283 ps	0,18283 ps	0,73132 ps	0,18283 ps
Observation T_{obs}	1 ns	1 ns	4 ns	4 ns
Volume FDTD $N_x \times N_y \times N_z$	$128 \times 60 \times 80$	$128 \times 60 \times 80$	$60 \times 60 \times 30$	$128 \times 60 \times 80$

Tableau 1. Paramètres des simulations DG-FDTD et MM-DG-FDTD.

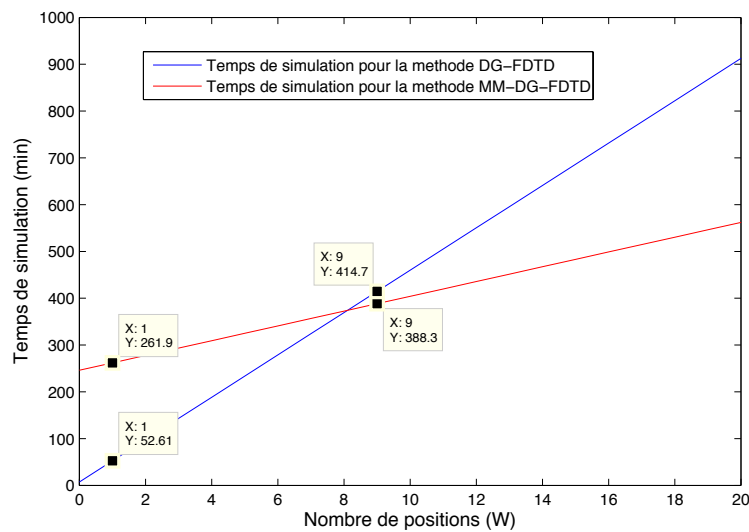


Figure 7. Temps de calcul pour analyser W positions de l'antenne Rx.

Références

- [1] B. Uguen, L.-M. Aubert, and F.-T. Talom, "A comprehensive mimo-uwband channel model framework for ray tracing approaches," in *The IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, Sept. 2006, pp. 231–236.
- [2] Y. Zhao, Y. Hao, and C. Parini, "FDTD characterisation of uwband indoor radio channel including frequency dependent antenna directivities," in *The 9th European Conference on Wireless Technology*, Sept. 2006.
- [3] C. Miry, R. Loison, and R. Gillard, "An efficient bilateral dual-grid-fdtd approach applied to on-body transmission analysis and specific absorption rate computation," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Trans. on*, vol. 58, no. 9, pp. 2375–2382, 2010.
- [4] Z. Guelilia, R. Loison, and R. Gillard, "Macromodel based dg-fdtd for calculating local dosimetry in a variable and highly multiscale problem," *Progress In EM Research (PIER)*, vol. 146, pp. 15–24, 2014.
- [5] V. Vairavanathan, C. Chang, N. Sood, and C. D. Saris, "A reciprocity-based framework for the efficient modeling of antenna-wireless channel interaction," in *International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, ICEAA, Torino, Italy*, 2011.
- [6] X. H. Wu, Z. N. Chen, and N. Yang, "Optimization of planar diamond antenna for single-band and multi-band uwband wireless communications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 42, no. 6, pp. 451–455, 2004.